

Malzemelerin Manyetik Alan Dağılımı Ölçümü

Emrah Kaplan¹, Dursun Ekmekci^{2*}

¹Elektrik ve Elektronik Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

²Makine Mühendisliği / Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye

*(dursunekmekci@gumushane.edu.tr)

Özet – Malzemelerin manyetik alan dağılımı ölçümü, malzemelerin manyetik özelliklerini anlamak ve karakterize etmek için kullanılan bir deneysel teknik veya yöntemdir. Bu ölçümler, malzemenin manyetik alan içindeki davranışını incelemek için çeşitli araçlar ve yöntemler kullanılarak yapılır. Manyetik alan dağılımı ölçümü, malzemelerin manyetik özelliklerini anlamak ve geliştirmek için önemli bir araçtır. Bu ölçümler, bir malzemenin performansını optimize etmek, yeni malzemeler geliştirmek ve farklı endüstriyel uygulamalarda kullanmak için önemli bilgiler sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler – Manyetik Alan, Hall Etkisi, Manyetik Sensörler, Manyetik Algılama, Manyetik Malzeme Analizi

I. GİRİŞ

Manyetizma, fiziksel dünyanın temel özelliklerinden biri olarak bilinir ve bir malzemenin manyetik özellikleri, birçok farklı alanda önemli bir rol oynar. Malzemelerin manyetik özelliklerini anlamak, mühendislik uygulamalarından temel bilim araştırmalarına kadar geniş bir yelpazede faydalıdır. Bu bağlamda, malzemelerin manyetik alan dağılımı ölçümü, malzemelerin manyetik davranışlarını incelemek ve karakterize etmek için önemli bir araştırma ve analiz alanıdır. Manyetik alan dağılımı, malzemenin içindeki kusurları ve yapısal özellikleri hakkında bilgi verebilir. Manyetik alan dağılımı ölçümü, malzemenin hasarını tespit etmek için kullanılabilir [1]. Manyetik alanın malzeme üzerindeki dağılımını ölçerek, malzemenin manyetik özelliklerini değerlendirmek mümkündür. Bu tür ölçümler, malzeme içindeki mikro yapılar, gerilmeler ve deformasyonlar hakkında bilgi sağlayabilir. Manyetik alan dağılımı ölçümü, bir malzemenin manyetik momentlerin konumları, yönleri ve büyüklükleri gibi manyetik özelliklerini belirlemeye yönelik bir dizi deneysel teknik ve yöntemi içerir [2]. Manyetik alan dağılımı ölçümü, birçok endüstriyel uygulama, malzeme mühendisliği, manyetik depolama teknolojileri, manyetik algılama sistemleri ve elektronik

cihazların tasarımı gibi alanlarda önemlidir. Bu bildiri, malzemelerin manyetik alan dağılımı ölçümünün temel prensiplerini, tekniklerini ve uygulamalarını incelemeyi amaçlamaktadır.

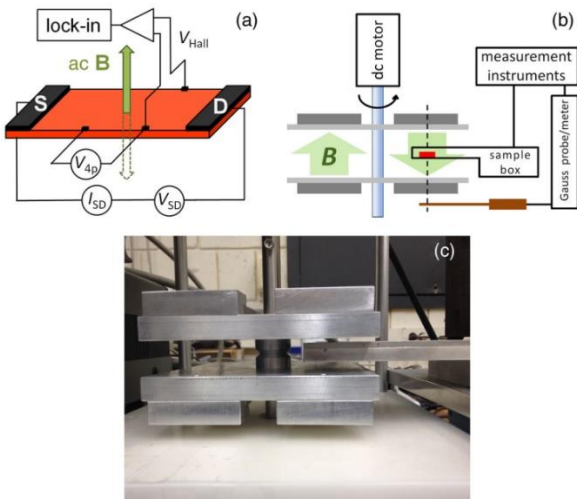
II. MANYETİK ALAN DAĞILIMI ÖLÇÜMÜ

Manyetik alanın malzeme üzerindeki dağılımını ölçerek, malzemenin manyetik özelliklerini değerlendirmek mümkündür. Literatürde, mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla manyetik alan ve sıcaklık alanını birleştiren bir işlem olan manyetik alan ısıl işlemi geliştirilmiştir. Bu işlem, malzemenin sertliği ve mukavemetini önemli ölçüde artırabilir. Alternatif manyetik alan yaşlandırma testi, AA2219 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. TEM analizi, Vickers sertlik ölçümü ve mekanik çekme testi kullanılarak yapılan çalışmada, manyetik alan yaşlandırma işleminin alaşımın mikro yapısını ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiği gösterilmiştir [3]. Başka bir çalışmada, malzeme işleme adımlarının silikon alaşımlı çeliğin manyetik, mekanik ve mikroyapısal özellikleri üzerindeki zararlı etkisi araştırılmıştır. Hem su jeti hem de giyotin kesim ile makine üretimi sırasında oluşan şekil verme süreçleri ve mekanik çekme yükleri incelenmiştir. Giyotin kesme gibi mekanik işlemler, zorlayıcılık ve artık indüksiyon gibi dışsal manyetik malzeme özelliklerini

değiştiren iç gerilmeleri indüklemiştir. Karşılaştırıldığında, su jeti ile kesme daha küçük artık gerilmelere neden olur. Manyeto-kristal anizotropinin etkisine, yani kesme yönünün haddeleme yönüne göre etkisine dikkat edilmiştir. Kesme tekniği nedeniyle indüklenen anizotropi, kesme sırasında gerilmeye bağlı manyetostriksiyon sabiti ve tane hizalaması ile ilgili olduğu bulunmuştur [4].

A. Hall Etkisi Ölçümü

Literatürde elektrikli çelik numunelerinde ters manyetostriktif etkileri inceleyen deneysel testler ve sayısal sonuçlar bulunmaktadır. Sayısal analiz, üç boyutlu manyetoelastik bir formülasyona dayanmaktadır. Manyetik alanın elastik deformasyona neden olduğu ve mekanik gerilmelerin manyetik özellikleri değiştirdiği bulunmuştur. Mekanik gerilmelerin artması, malzemenin daha fazla akı yoğunluğu içermesine neden olmaktadır. Ayrıca, sayısal sonuçlar, numune içinde ve dışında alan değişkenlerini herhangi bir noktada belirlememize yardımcı olmuştur. Numune dışında manyetik alan kuvvetini ölçmek için Hall probu kullanılmış (Şekil 1) ve ASTM standardı V3.04 A341'e göre, numuneden 2 mm, 5 mm ve 20 mm uzaklıktaki birkaç noktada alan kuvveti ölçülmüştür. Numunede alan kuvvetini tahmin etmek için eğri çıkarılmıştır [5].

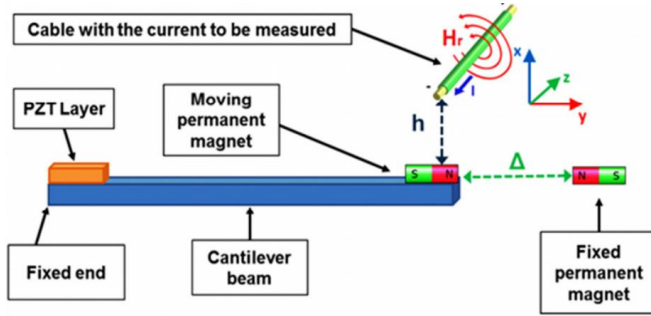


Şekil 1. (a) Bir ac manyetik alanı, bir DC kaynak boşaltma akımı uyarımı ve Hall voltajının faza duyarlı tespit yönteminden faydalanan bir ac Hall etkisi ölçüm diyagramı. (b) Dikey AC manyetik alan oluşturan Nd mıknatıslı dönen çerçeve, kutu içindeki örnek malzeme (kırmızı renkli) ve Gaussmetreden oluşan düzeneğin yandan görünümü. (c) Mıknatısların arasına yerleştirilmiş düz numune kutusunun fotoğrafı [6].

B. Manyetik Alan Sensörleri İle Alan Haritalaması

Literatürde elektrikli çelik levhaların manyetik özellikleri üzerinde sabit çekme ve bası gerilmelerinin etkisini hesaplayan tek eksenli manyetomekanik bir tezgahın geliştirilmesi detaylandırılmıştır. Manyetik ölçümler için uluslararası standartları takip edilen bu çalışmada, kullanılan manyetik devre, uyarma ve kontrol teknikleri anlatılmıştır. Bası gerilmesinin uygulanması için geliştirilen burkulma önleyici donanımına ilişkin mekanik hususların yanı sıra manyetik ölçümlerle ilgili spesifikasyonlar da sunulmuştur. Çeşitli gerilme seviyeleri ve frekansları için elde edilen sonuçlar doğrulanmış ve analiz edilmiştir. Önerilen tezgah, bası gerilmesinin, yönlendirilmemiş çeliğin manyetik özellikleri üzerinde olumsuz etkisinin yanı sıra hafif çekme gerilmesinin olumlu etkisinin gözlemlenmesini sağlamıştır. Hem teçhizatın hem de test edilen malzemenin düşük yoğunluklu tepkilerini ölçmek için özel sensörler ve koşullandırma yükseltme teknikleri geliştirilmiştir [7]. Ferromanyetik malzemeler de, manyetik alan duvarları dislokasyon mekanizmaları üzerinden mikro yapı ile etkileşime girer. Bu malzemelerin manyetik özellikleri genellikle sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklerle ilişkilidir. Bu durum, mikro manyetik malzeme karakterizasyonunun temelidir. Elektron spin seviyesindeki etkileşimler, moleküler yapıya bağlı olduğundan ve manyetik davranışı belirlediğinden, para ve diamanyetik malzemelerin manyetik ve mekanik özellikleri arasında da böyle bir ilişki varsayılmıştır. Benzer etkilerin elektriksel alanda var olduğu bilinmektedir. Girdap akımı empedans ölçümleri kullanılarak alüminyum veya nikel bazlı alaşımlar gibi manyetik olmayan malzemelerin elektriksel iletkenliği, gerilme ve dislokasyon yoğunluğundan etkilenir. Grafit, alüminyum ve plastik gibi ferromanyetik olmayan malzemelerin mekanik özellikleri ile manyetik duyarlılığı hakkında çok az şey bilinmektedir. Bu tür malzemelerin duyarlılık görüntülemesi için kuvvete dayalı bir manyetik sensör prensibi önerilmiştir. Paramanyetik ve diamanyetik malzemelerin duyarlılık görüntülemesi için sensör oluşturulmuş ve birkaç pratik örnek üzerinde test edilmiştir [8]. Başka bir çalışmada, AC elektrik akımlarını izlemek için otomatik bistabil MEMS sensörü önerilmiştir. Şekil 2'de şeması verilen sensör, piezoelektrik bir kirişten oluşur ve iki zıt manyetizasyona sahip kalıcı mıknatıslarla

donatılmıştır. Miknatıslardan birisi kirişin hareketli ucunda diğeri ise dış kısımda sabitlenmiştir. Kiriş, manyetik kuvvetin etkisiyle iki kararlı denge durumu arasında geçiş yapar. AC elektrik akımlarının ölçümü, bistabil yapıdaki geçişlerin sayısının sayılmasıyla gerçekleştirilir. Ayarlanabilir bir eşik, cihazın hassasiyetini, çalışma aralığını ve dış gürültüye karşı dayanıklılığını ayarlamak için kullanılır. Piezoelektrik bistabil cihaz, sistemi otonom hale getirmek için gereken enerjiyi toplayabilme yeteneğine sahiptir [9].



Şekil 2. Önerilen cihazın şematik diyagramı [9].

Diğeri bir çalışmada ısıtma amacıyla polimerik matrislerin içine çeşitli ferromanyetik ve elektriksel olarak iletken parçacıklar eklenerek, indüksiyonla ısıtma yöntemi geliştirilmiştir. Yapılan deneylerde farklı partikül malzemeleri ve frekans seviyeleri kullanılmış ve bu malzemelerin mekanik karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Isıtma etkisinin malzeme türü ve frekansa bağlı olduğu görülmüş, demir ve manyetit gibi ferromanyetik parçacıkların en iyi sonuçları verdiği tespit edilmiştir [10]. Manyetit nanoparçacıkları içeren tersine çevrilebilir çapraz bağlara sahip hidrojel geliştirilmiş ve bu hidrojel manyetik alanlar kullanılarak çaprazda yeniden birleştirilmiştir. Bu hidrojel, çok işlevli biyosensör uygulamaları için kullanılmıştır [11].

III. SONUÇLAR

Malzemelerin manyetik alan dağılımı ölçümü, manyetik özelliklerin karakterizasyonu, geliştirilmesi ve uygulanmasında hayati bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, manyetik alan dağılımının önemi, ölçüm teknikleri ve uygulamaları incelenmiştir. Bu alandaki araştırmaların sonuçları, birçok endüstriyel, bilimsel ve teknolojik alanda büyük katkılar sağlamaktadır. Manyetik alan dağılımı ölçümleri, malzemelerin manyetik davranışlarını anlama ve mükemmelleştirme sürecinde temel bir araçtır.

Ayrıca manyetik alan dağılımı ölçümleri, manyetik depolama teknolojileri, manyetik algılama sistemleri, manyetik sensörler ve elektronik cihazların geliştirilmesi ve tasarlanmasında da kullanılır. Sonuç olarak, malzemelerin manyetik alan dağılımı ölçümü, bir malzemenin manyetik özelliklerini anlama, analiz etme ve optimize etme sürecinde temel bir araçtır.

KAYNAKLAR

- [1] M. Roskosz, P. Mazurek, J. Kwaśniewski, and J. Wu, "Use of different types of magnetic field sensors in diagnosing the state of ferromagnetic elements based on residual magnetic field measurements," *Sensors*, vol. 23, p. 6365, 2023.
- [2] P. Szulim and S. Gontarz, "Extraction of magnetic field features to determine the degree of material strain," *Materials*, vol. 14, p. 1576, 2021.
- [3] Y. Z. Liu, L. H. Zhan, Q. Q. Ma, Z. Y. Ma, and M. H. Huang, "Effects of alternating magnetic field aged on microstructure and mechanical properties of AA2219 aluminum alloy," *J. Alloys Compd.*, vol. 647, pp. 644-647, 2015.
- [4] N. Leuning, S. Steentjes, K. Hameyer, M. Schulte, and W. Bleck, "Effect of material processing and imposed mechanical stress on the magnetic, mechanical, and microstructural properties of high-silicon electrical steel," *Steel Res. Int.*, vol. 87, pp. 1638-1647, 2016.
- [5] O. A. Mohammed, S. C. Ganu, and S. Liu, "Numerical analysis of magnetostrictive effects in an electrical steel sample including experimental testing," *IEEE Southeast Con. Proc.*, pp. 428-432, 2004.
- [6] Y. Chen, H. T. Yi, and V. Podzorov, "High-resolution ac measurements of the hall effect in organic field-effect transistors," *Phys. Rev. Appl.*, vol. 5, p. 034008, 2016.
- [7] B. J. Mailhé, L. D. Bernard, L. Daniel, N. Sadowski, and N. J. Batistela, "Modified-SST for uniaxial characterization of electrical steel sheets under controlled induced voltage and constant stress," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 69, pp. 9756-9765, 2020.
- [8] B. Gupta and K. Szielasko, "Magnetic sensor principle for susceptibility imaging of para- and diamagnetic materials," *J. Nondestruct. Eval.*, vol. 35, p. 41, 2016.
- [9] B. Andò, S. Baglio, G. L'Episcopo, F. Maiorca, and C. Trigona, "Autonomous bistable microsensors for noninvasive AC electrical current measurements," *IEEE Int. Instrum. Meas. Tech. Conf.*, p. 13662561, 2013.
- [10] T. Bayerl, R. Schledjewski, and P. Mitschang, "Induction heating of thermoplastic materials by particulate heating promoters," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 20, pp. 333-342, 2012.
- [11] A. Puiggalí-Jou, I. Babeli, J. J. Roa, J. O. Zoppe, J. García-Amorós, M. P. Ginebra, C. Alemán, and J. García-Torres, "Remote spatiotemporal control of a magnetic and electroconductive hydrogel network via magnetic fields for soft electronic applications," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 13, pp. 42486-42501, 2021.